

# KONKURS NA NAJLEPSZE PRACE DYPLOMOWE WIMiR

VI Konkurs Na Najlepsze Prace Dyplomowe Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki 2016/2017 – prace inżynierskie



**Robert BULAS**  
MiBM



## Stateczność ruchu wibratorów bezwładnościowych w stanie samosynchronizacji

### The stability of inertial vibrators motion in a state of self synchronization

promotor: dr hab. inż. Grzegorz Ciepłok – Katedra Mechaniki i Wibroakustyki

#### Streszczenie:

Praca obejmuje analizę dynamicznych równań ruchu maszyny wibracyjnej napędzanej za pomocą dwóch wibratorów bezwładnościowych pod kątem oceny zapasu momentu stateczności więzi pomiędzy zsynchronizowanymi wibratorami. Zawiera również przegląd istniejących rozwiązań napędów maszyn wibracyjnych, w szczególności omówiono w niej wibratory mimośrodowe i bezwładnościowe oraz ich przykładową budowę. W pracy scharakteryzowano typowe maszyny wibracyjne wykorzystujące zjawisko samosynchronizacji wibratorów bezwładnościowych służące np.: do transportu wibracyjnego, przesiewania czy zagęszczania. Zasadnicza treść pracy obejmuje wyprowadzenie równań ruchu maszyny wibracyjnej o napędzie dwuwibratorowym z dokładną analizą poprawności przyjętych uproszczeń oraz przedstawienie tych równań w postaci bezwymiarowej jako ogólniejszej, pozwalającej na szersze wykorzystanie wyników badań numerycznych. W celu wyznaczenia i zobrazowania wartości momentów desynchronizujących wibratory, przeprowadzono badania symulacyjne na szerszą skalę, a wyniki tych badań przedstawiono na wykresach konturowych w funkcji podstawowych parametrów konstrukcyjnych maszyny. Praca została zakończona wnioskami praktycznymi.

#### Cel pracy

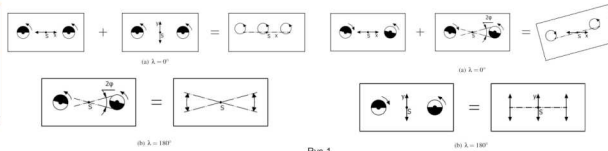
Celem pracy była analiza stateczności ruchu wibratorów bezwładnościowych będących w stanie synchronizacji i określenie wpływu parametrów konstrukcyjnych maszyny na zapas stateczności. W pracy skupiono się na czterech najistotniejszych zadaniach:

1. Zbudowaniu dynamicznych równań ruchu typowej maszyny wibracyjnej wprawionej do drgań za pomocą dwóch wibratorów bezwładnościowych.
2. Badaniom symulacyjnym procesu synchronizacji wibratorów mających na celu określenie zgodności modelu z wiedzą teoretyczną.
3. Wyrażeniu dynamicznych równań ruchu maszyny w postaci bezwymiarowej, pozwalającej na uogólnienie wyników badań numerycznych na określoną grupę maszyn.
4. Wyznaczeniu nomogramów zapasu stateczności ruchu wibratorów w jednostkach względnych w zależności od wybranych parametrów konstrukcyjnych maszyny.

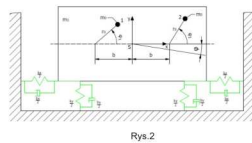
#### Zjawisko samosynchronizacji

Samosynchronizacja napędów wibracyjnych polega na sprzężeniu ze sobą ruchu części maszyny przy braku wzajemnych więzi kinematycznych i elektrycznych przy ściśle określonych warunkach. Zjawisko to możemy rozpoznać między innymi po tym, iż części maszyny poruszają się lub drgają z tymi samymi prędkościami kątowymi lub częstotliwościami.

Przedstawione rysunki obrazują możliwe konfiguracje zjawiska samosynchronizacji w zależności od zwrotu prędkości wibratorów (współbieżne, przeciwbieżne - Rys.1).



Rys.1



Rys.2

#### Wyprowadzenie równań ruchu, ich uproszczenie i przedstawienie w postaci bezwymiarowej

Podstawą do wyprowadzenia dynamicznych równań ruchu był model maszyny wibracyjnej z dwoma wibratorami bezwładnościowymi (Rys.2.) napędzanymi za pomocą dwóch niezależnych silników asynchronicznych. Układ mechaniczny został opisany pięcioma stopniami swobody. Na podstawie wstępnych badań symulacyjnych przeprowadzono analizę uproszczeń związaną z przyjęciem założenia o małych przemieszczeniach kątowych korpusu maszyny, a w szczególności obliczono przykładowe błędy i przedstawiono je w postaci tabelarycznej.

Parametry fizyczne występujące w równaniach jak i współrzędne ruchu przekształcono do wielkości bezwymiarowych odniesionych do wielkości charakterystycznych, np.: do asymptoty poziomej drgań korpusu czy momentu ciężaru wibratora.

Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]
1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]
1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]
1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Tabela 3.1. Porównanie wyników num. obliczeń i wyn. przybliżonego obliczenia błędów względnego

Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]	Prędkość obrotowa wibratora [rpm]
1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500

Tabela 3.2. Porównanie wyników symulacji

#### Analizując otrzymane wyniki stwierdzono:

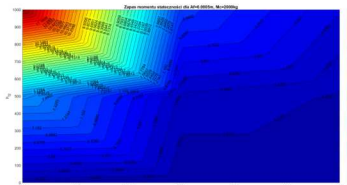
1. Wartości błędów względnego jest wartości stałe i utrzymuje się na poziomie ok. 0,035%.
2. Wartości błędów wynikają z błędów czasowego jaki przyjęto podczas obliczeń.
3. Na podstawie obliczeń stwierdzamy że różnica pomiędzy wartościami obliczonymi a wartościami uzyskanymi w symulacji jest znikoma.

#### Sformułowanie kryterium zapasu stateczności

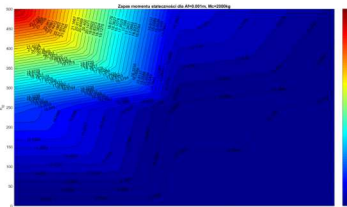
Jako miarę zapasu stateczności ruchu wibratorów przyjęto maksymalną wartość momentu desynchronizującego wibrator odniesioną do momentu ciężaru pojedynczego wibratora. Praktycznie, kryterium to było realizowane poprzez przykładanie coraz większego momentu obciążającego jeden z wibratorów, aż do momentu zerwania więzi synchronizującej wibrator objawiającej się gwałtownym wzrostem kąta rozfazowania wibratorów przekraczającym 90 stopni.

#### Wyniki symulacji

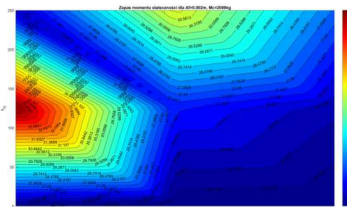
Wyniki symulacji przedstawiono na wykresach konturowych, na których naniesiono procentową wartość momentu desynchronizującego w funkcji wybranych parametrów konstrukcyjnych maszyny (Rys.3-5).



Rys.3



Rys.4



Rys.5

#### Wnioski

Na podstawie badań symulacyjnych opartych o wyprowadzone równania ruchu potwierdzono istnienie zjawiska samosynchronizacji jak i jego możliwe teoretyczne konfiguracje (zależne od kierunku prędkości silników, czy wartości współczynników sprężystości sprężyn). Opierając się o wyniki badań symulacyjnych i wyznaczone wykresy konturowe można było stwierdzić również, że:

1. Dla zadanej wartości amplitudy drgań maszyny masa korpusu ma najmniejszy wpływ na wartość momentu desynchronizującego.
2. Wraz ze wzrostem odległości środka masy korpusu od prostej łączącej wibratory (hf) jak i zmniejszaniem odległości poziomej wibratorów od środka masy (af) zapas stateczności zwiększa się. Na wykresie konturowym można odczytać wartości maksymalne.
3. Zapas stateczności zależy w największym stopniu od amplitudy drgań korpusu maszyny. Amplituda w sposób jednoznaczny związana jest z niewyważeniem statycznym wibratora, od którego zależy moment oddziaływania wibratorów (składniki momentu synchronizującego widoczne są w równaniach ruchu).
4. Zapas momentu stateczności jest wielkością kilkakrotnie większą od momentu ciężaru wibratora.

#### Literatura

1. Banaszewski T., 1990, Przewodnik, Wydawnictwo "Śląsk", Katowice.
2. Ciepłok G. Stany równowagi nadcritycznie tłumionych wibratorów, Wydawnictwo AGH, nr 185, Kraków 2008.
3. Motowicz J. Maszyny wibracyjne - obciążenia dynamiczne, organia, halta, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998.
4. Kozłowski J. Metodologia rozwiązywania zadań z mechaniki, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2013.
5. Gilar A. MATLAB: An Introduction with Applications 5th Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA 2014.